Vulnerabilidad ante un ataque nuclear por sorpresa

Se asegura que Estados Unidos necesita nuevos misiles instalados en tierra, dada la vulnerabilidad de los actuales. El análisis de las incertidumbres ante un ataque nuclear parece indicar que se ha exagerado dicha debilidad

Matthew Bunn y Kosta Tsipis

La disuasión de la guerra nuclear exige que las fuerzas nucleares no sean vulnerables a un ataque preventivo. Durante decenios los responsables de la planificación estratégica, tanto en Estados Unidos como en la Unión Soviética, se han preocupado por la posibilidad de un primer golpe nuclear que desarmara y dejara a la víctima del mismo sin capacidad de devolverlo, mediante una específica acción de represalia. Tanto uno como otro país han gastado ingentes recursos en el esfuerzo de mantener la supervivencia de sus fuerzas nucleares estratégicas.

La preocupación por la vulnerabilidad de las fuerzas nucleares instaladas en tierra aumentó con el desarrollo de los vehículos de reentrada múltiple contra objetivos independientes (los MIRV, siglas de *M*ultiple *i*ndependently *t*argetable *v*ehicles) a finales de la década de 1960. Esta tecnología, que Estados Unidos ensayó primero, permite que un misil porte varias ojivas, cada una de ellas capaz de golpear sobre un objetivo diferente. Es decir, cada misil MIRV puede actuar sobre varios misiles del adversario, lo que, al ser susceptible cada uno de éstos de portar varias ojivas, da una doble ventaja al atacante.

Por ello, los avances de la tecnología MIRV soviética han suscitado el temor de que, una vez que Rusia hubiese desarrollado misiles MIRV que combinen precisión, potencia y seguridad en el funcionamiento, posea dicho bloque militar capacidad para destruir en un primer golpe la mayor parte de los misiles norteamericanos instalados en tierra, recurriendo para ello al uso de tan sólo una fracción de las armas de que dispone. Aunque los misiles instalados en tierra constituyen la cuarta parte de las fuerzas nucleares estratégicas norteamericanas –el resto son misiles balísticos instalados en submarinos (SLBM) y bombarderos estratégicos– crece la preocupación de que la vulnerabilidad del componente ICBM de la "tríada" estratégica pueda suponer, para Occidente, un grave problema de seguridad.

En el otoño de 1977, los peores temores de los planificadores estratégicos norteamericanos se hicieron realidad, al iniciar la Unión Soviética una serie de pruebas de un nuevo sistema de orientación con una precisión muy perfeccionada. Los cálculos simplificados indican que, una vez que haya desplegado un número apropiado de estos nuevos MIRV, Rusia dispondrá de capacidad real para destruir en un primer ataque el grueso de la fuerza estadounidense instalada en tierra. Así surgió lo que se ha dado en denominar "la ventana de la vulnerabilidad", concepto que ha dominado durante algunos años el pensamiento estratégico occidental, sirviendo de justificación principal para el desarrollo de una nueva generación de armas estratégicas estadounidenses, entre ellas los misiles MX y Trident II.

Pero los cálculos simples no hacen justicia a las importantes incertidumbres inherentes a toda evaluación de los resultados de un ataque contra silos. La información de los servicios de inteligencia raras veces es absoluta y, cuando el estado mayor de las fuerzas occidentales aborda la incertidumbre del valor real de parámetros tales como la precisión de los misiles balísticos intercontinentales de la otra parte, tiene que elaborar hipótesis que parecen conservadoras desde el punto de vista de quien se defiende. Desgraciadamente, el proceso oculta a menudo la realidad de que cualquier ataque entrañaría también un alto grado de incertidumbre desde el punto de vista del atacante.

Dado el inmenso poder de destrucción de los modernos arsenales nucleares, cualquier ataque nuclear de primer golpe sería como un juego de azar a una escala desconocida en la historia de la humanidad: lo que estaría sobre la balanza sería el futuro de civilizaciones enteras. Es tal la magnitud de las apuestas sobre la mesa, que cualquier incertidumbre sobre los resultados de un ataque semejante servirá de poderosa disuasión. La pregunta que se hace cualquiera al reflexionar sobre cómo planificar el ataque ya no es la de "qué se espera", sino "qué es lo peor que puede ocurrir". Por ello, al evaluar la posibilidad de un ataque, es imprescindible hacer un cálculo comparativo de las incertidumbres que entrañaría, para realizar luego una evaluación conservadora antes del mismo. Pocas veces se efectúa ese cálculo en los Estados Unidos al hacer la evaluación del equilibrio estratégico. Lo que generalmente se presenta al Congreso y a la opinión pública son los resultados de un ataque idealizado, casi sin fallos, ignorando a menudo las incertidumbres inherentes a dicho golpe. Trataremos, en este artículo, de corregir ese extremo.

Los silos que albergan a los modernos ICBM son estructuras subterráneas de hormigón, "reforzadas" para resistir los efectos de explosiones nucleares. Los efectos nucleares que podrían dañar a los ICBM son de muy diverso tipo, pero portavoces de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos han señalado que, por regla general, la mayor vulnerabilidad de los silos se da frente a la onda de choque de la explosión nuclear. Por ello, la solidez de un silo se expresa generalmente en térmi-

nos de qué sobrepresión generada por la onda de choque se necesitaría para destruirlo, medida en kilogramos por centímetro cuadrado.

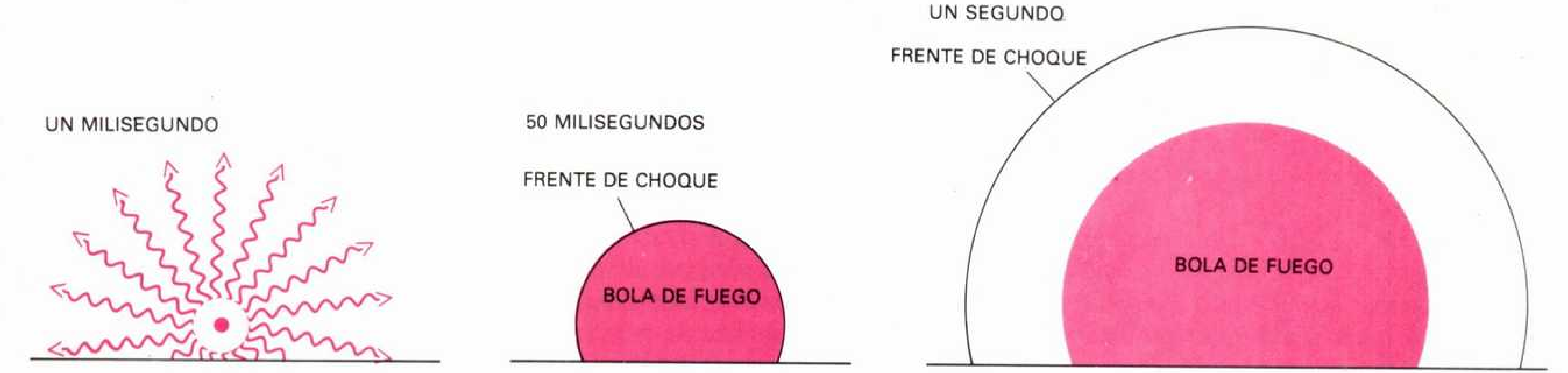
El cálculo más generalizado es que los silos que albergan actualmente los 1000 ICBM Minuteman son capaces de resistir sobrepresiones de hasta 140 kilogramos por centímetro cuadrado. La explosión de un arma de medio megatón, como las que transportan los MIRV soviéticos más precisos, provocaría semejantes sobrepresiones en un rango de 300 metros. Así pues, para destruir un misil Minuteman, habrá que detonar un arma de medio megatón en un radio de 300 metros alrededor del silo. Por ello, aunque la precisión con que caiga el arma no sería especialmente importante en ataques a ciudades, sí tendría decisiva importancia en cualquier ataque contra objetivos reforzados, como son los silos de ICBM.

Los ICBM que transportan esas armas constan de tres partes principales: un cohete (constituido a su vez de varias partes independientes), la carga (que comprende varios RV [*reentry vehicles*], armados con ojivas termonucleares) y el sistema de guía (que dirige el impulso del cohete, a fin de colocar cada RV en la trayectoria adecuada para alcanzar el objetivo asignado). Cuando se lanza uno de esos misiles, el cohete principal sólo desarrolla su función balística entre los tres y los cinco primeros minutos del vuelo. En los minutos siguientes, un cohete más pequeño lleva a cabo los ajustes necesarios de la trayectoria final para poner a cada RV en el camino del objetivo que se pretende. Se sueltan luego los RV, que entran en caída libre en el campo de gravedad de la tierra, sin motor ni guía. Tras media hora de vuelo, los RV retornan a la atmósfera y estallan sobre sus objetivos. En consecuencia, el vuelo del misil puede dividirse en tres fases: la fase propulsada, el vuelo libre y el retorno a la atmósfera.

Hacer caer los RV en el radio de unos cientos de metros de sus objetivos después de recorrer una distancia de 10.000 kilómetros exige un sistema de guía de suma precisión. Las armas estratégicas descansan en una técnica conocida por "guía de inercia", en la que se acude al empleo de giroscopios y acelerómetros para medir las fuerzas que actúan sobre el misil. Pero estos instrumentos inertes no pueden medir la fuerza de la gravedad, dada la equivalencia entre gravedad y aceleración, según describiera Albert Einstein: en un ascensor en caída libre, un acelerómetro señalaría el cero, aunque el ascensor experimentara una aceleración hacia el suelo por influencia de la gravedad. Por ello, para calcular los efectos de la fuerza de atracción de la gravedad de la tierra sobre el desplazamiento del misil, es preciso programar una función de posición en el sistema de guía del misil antes de su lanzamiento. Combinando el modelo de gravedad con las mediciones de determinadas fuerzas por los acelerómetros, el ordenador de guía aplica las leyes de la inercia de Newton para calcular el desplazamiento del misil en tres dimensiones y situarlo en la debida trayectoria hacia su objetivo.

La precisión de tales armas puede verse afectada por errores de muy diverso origen. Errores que proceden del sistema de guía inerte y errores que se producen en su retorno a la atmósfera. La desviación del objetivo por cualquiera de estas causas es de 100 metros o más en algunos de los ICBM de la generación actual. Los errores en el sistema de guía se derivan de imperfecciones en los giroscopios o en los acelerómetros y pueden ser constantes, acumulativos con el tiempo o aleatorios; se producen por vibraciones, golpes o cambios de la aceleración. Los errores que hacen referencia a la reentrada en la atmósfera tienen su origen, a su vez, en cambios atmosféricos imprevisibles sobre el objetivo (vientos y variaciones de la densidad atmosférica) y en incertidumbres resultantes de la ablación del cono de proa del RV. Puesto que los RV del ICBM entran en la atmósfera a una velocidad de 7000 metros por segundo, el cono de proa se consume al atravesar el RV las capas de aire. Su ablación suele producirse de una manera bastante imprevisible y asimétrica, generando inestabilidades aerodinámicas que alteran la precisión del RV. Además, ciertos factores climatológicos de importancia –como fuertes lluvias o nieve– pueden aumentar considerablemente la ablación, con la consiguiente pérdida de precisión del RV.

Entre otras causas de menor importancia se pueden incluir errores en el modelo de gravedad empleado por el sistema de guía de inercia, errores en la fusión de la cabeza nuclear y errores en la determinación del objetivo. Cada grupo de éstos agrega varias decenas de metros al "presupuesto de error" del conjunto del sistema. La determinación de la posición original y de la velocidad



1. PRIMEROS EFECTOS de la explosión atmosférica, a baja altura, de una carga nuclear de 550 kilotones, secuenciados en esta doble página. Se presupone que la dimensión del ingenio explosivo y la altura de la explosión son las adecuadas para un ataque de ICBM sobre silos de Minuteman norteamericanos. Una milésima de segundo después de la explosión de la ojiva, la temperatura de la bola de fuego que se forma oscila entorno a los 400.000 grados Celsius; la sobrepresión (el aumento de la presión por encima de la presión ambiente) se cifra en 7000 kilogramos por centímetro cuadrado. Hasta una distancia de 800 metros del punto de la explosión se expande radiación (sobre todo neutrones y rayos gamma) capaz de destruir una ojiva nuclear. A las 50 milésimas de segundo, el radio alcanzado por la bola de fuego en su rápida expansión ronda ya los 500 metros y la temperatura en su interior ha descendido a 75.000 grados Celsius. La sobrepresión en el frente de la onda de choque (que en este estadio coincide con la superficie de la bola de fuego) es de 42 kilogramos por centímetro cuadrado y, en su perímetro, el viento se expande con una fuerza de varios miles de kilómetros por hora. Cuando ha transcurrido un segundo, la bola de fuego tiene un radio de 900 metros, una temperatura interna de 10.000 grados Celsius y una temperatura de superficie de 6000 grados. El frente de choque se expande ahora más rápidamente que la bola de fuego y ha alcanzado ya un radio de 1400 metros, distancia en la que la sobre-

del lanzador es de extrema importancia en sistemas de lanzamiento desde plataformas móviles, como es el caso de los SLBM, instalados en submarinos, pero es despreciable en el de los ICBM, instalados en silos. A esos posibles fallos se debe la poca confianza puesta en la precisión de los actuales SLBM en su actuación sobre silos "reforzados" de misiles.

El montante de fuentes de error entre un misil balístico y otro es aleatorio, de modo que si se disparase hacia un solo blanco una cantidad considerable de tales armas, éstas tenderían a caer dispersas al azar en torno al blanco. La amplitud de esta dispersión se mide por un parámetro conocido por



UN MINUTO

CINCO KILOMETROS

presión es de 2,8 kilogramos por centímetro cuadrado. A los 10 segundos, la bola de fuego ha llegado a su radio máximo, un kilómetro, y comienza a ascender. La temperatura de superficie de la bola es de unos 2000 grados Celsius y, el radio del frente de choque, de unos cinco kilómetros. (Sólo se alcanza a ver en el extremo superior de este cuadro.) La sobrepresión en el frente de choque es de 0,35 kilogramos por centímetro cuadrado. Vientos verticales de una velocidad aproximada de 600 kilómetros por hora comienzan a levantar del suelo polvo y otros escombros hacia el tallo de la nube ascendente. Al cabo de un minuto, la nube ha crecido, con su característica forma de hongo, hasta un radio de 2,5 kilómetros; su centro alcanza los 6,5 kilómetros de altura. La bola de fuego no produce ya radiaciones a longitudes de onda visibles. Vientos verticales de varios centenares de kilómetros continúan levantando grandes partículas hacia la nube y su tallo. Cualquier RV (*reentry vehicle*, la porción que se desprende del misil y lleva la carga nuclear) que entrase en su inmediata proximidad en estos primeros estadios tendría muchas posibilidades de ser destruido por radiaciones nucleares o térmicas, vientos o colisiones con las mayores partículas levantadas por la explosión de una ojiva de la primera oleada. Incluso en posteriores estadios, partículas más pequeñas levantadas por la ojiva de la primera oleada podrían afectar a las de la segunda. Tales efectos destructivos se han denominado "fratricidas".

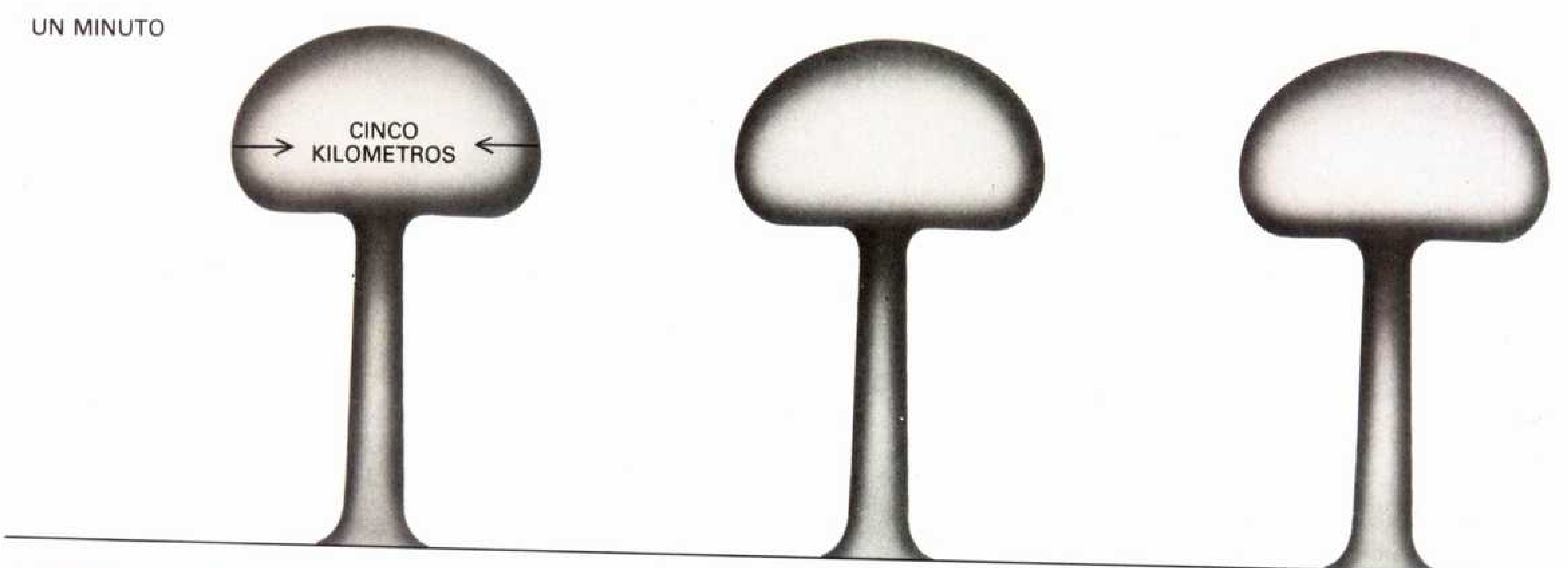
probable error circular (PEC): el radio de un círculo cuyo centro es el punto medio de impacto dentro del cual caerían el cincuenta por ciento de los RV. El PEC mide, pues, la precisión con que un misil descarga su explosivo. Con las evaluaciones del PEC, de la capacidad explosiva y de la seguridad del funcionamiento de una determinada arma se puede calcular la probabilidad que tiene ese arma de destruir un objetivo de una determinada solidez. A título de ejemplo, se considera que el misil soviético SS-19 Mod 3 [modificado] posee un PEC de 250 metros y cada una de sus ojivas una potencia de aproximadamente 550 kilotones. El SS-18 Mod 4 goza de una precisión similar y carga ojivas de potencia también similar, pero lleva diez ojivas para objetivos independientes. Suponiendo un perfecto funcionamiento de su mecanismo, las ojivas de este tipo tendrían el 63 por ciento de probabilidad de destruir un silo de Minuteman "reforzado" para soportar hasta 140 kilogramos por centímetro cuadrado. Suponiendo ahora una independencia estadística, dos armas de este tipo tendrían un 85 por ciento de probabilidad de destruir el mismo silo. Un cálculo así indicaría que con 2000 ojivas la Unión Soviética destruiría el 90 por ciento de los 1000 Minuteman norteamericanos in situ. Este tipo de resultados teóricos alarmistas ha conocido una amplia difusión.

Pero no parece muy razonable esperar que un sistema tan complejo como un moderno ICBM tenga una perfección de funcionamiento en su mecanismo de casi el 100 por ciento. Un cálculo más fiable la sitúa en el 75 por ciento para los ICBM soviéticos, lo que reduciría al 72 por ciento la probabilidad de destrucción de sus ojivas, cifra que se ajusta al 70 o 75 por ciento que hoy señala la Junta de Jefes de Estado Mayor de los Estados Unidos.

Más aún, esa cifra no recoge el amplio abanico de incertidumbres que hay que tomar en consideración al hacer un cálculo de los resultados tras un ataque contra silos. Quien detenta la responsabilidad de la planificación de un ataque así tiene siempre que enfrentarse además con otras incertidumbres: cuál sea la precisión real, la perfección del funcionamiento y la potencia de sus armas en condiciones operativas y también con qué solidez el adversario protege sus silos. Otros factores menos conocidos, como las interferencias "fratricidas" entre las armas empleadas en un ataque, influirán de una manera poderosa en el resultado. Como mostraremos, estas incertidumbres harán totalmente imposible que, con la capacidad actual de sus ICBM, los dirigentes soviéticos lleguen a tener una confianza razonable en destruir más de la mitad de los misiles norteamericanos instalados en tierra.

Volvamos en primer lugar a la principal causa de incertidumbre: la precisión de las armas atacantes. El volumen de errores de un sistema ICBM no tendrá correlación estadística de un misil a otro; a ello contribuye el azar de la caída descrita por el PEC. Pero, como ocurre en otros sistemas electromecánicos complejos, los ICBM no sólo presentan errores fruto del azar, sino también errores sistemáticos. Por consiguiente, aunque los cálculos habituales sobre vulnerabilidad del ICBM hacen presumir que el centro del impacto estará directamente sobre el objetivo, la caída real se producirá a menudo un tanto fuera del mismo. Se llama sesgo o desviación a la distancia entre el objetivo y el punto medio del impacto. Si la situación que se ha calculado para un determinado objetivo está a 20 metros al sur del punto real, es probable que también se calcule mal la ubicación de otros objetivos en la misma zona: silos instalados en el mismo campo de misiles, por ejemplo. De modo parecido, los errores en materia de gravedad de los ICBM lanzados desde silos situados muy próximos entre sí en territorio del atacante guardarán una estrecha correlación, por causa de errores debidos a los vientos existentes y a las variaciones de la densidad de la atmósfera con que se encontrarán al volver a entrar en ésta en la misma zona del territorio atacado. Por el contrario, con pruebas y análisis en tiempos de paz, cabría eliminar los más importantes sesgos y desviaciones del propio sistema de guía.

Cualquier desviación de menos de un centenar de metros no afecta sustancialmente al éxito del ataque contra silos "reforzados" para resistir hasta 140 kilogramos por centímetro cuadrado. La razón de ello reside en que cualquier arma que cayese a una distancia del objetivo tres veces superior a la antedicha lo destruiría. Sin embargo, por la propia naturaleza de la desviación, y atendiendo a la ley de los grandes números, no será fácil poner un límite a las magnitudes de las desviaciones que se producirán en un ataque real. Si un error entre dos ojivas es mero fruto del azar, un ataque que comprenda 2000 ojivas producirá 2000 valores independientes de esa variable; como ocurriría si se tirase 2000 veces un dado; son muy escasas las probabilidades de una desviación importante del resultado medio. Por otra parte, si un error guar-



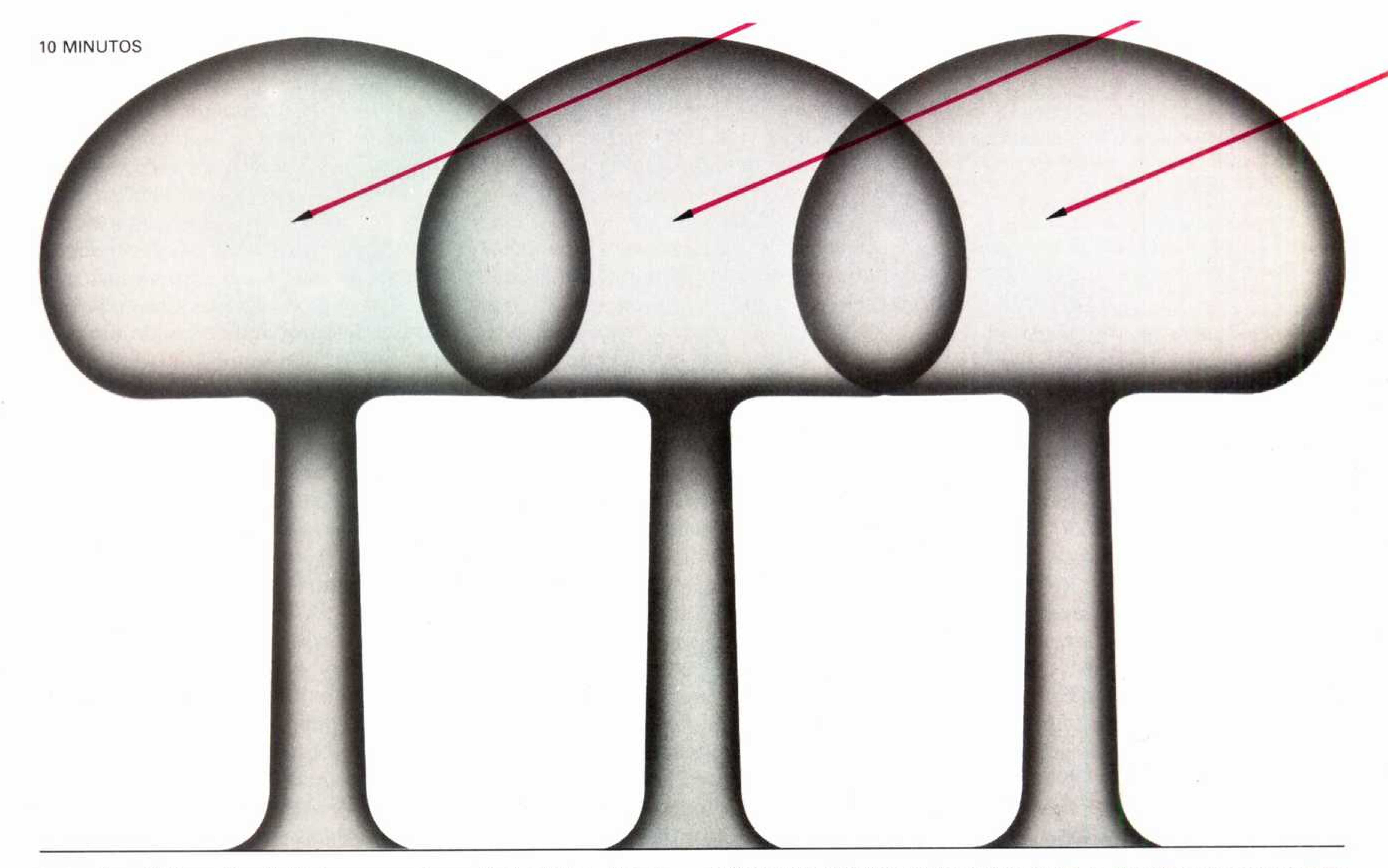
2. NUBES EN FORMA DE HONGO que ascienden tras las explosiones simultáneas, a baja altura, de varias cabezas nucleares de 550 kilotones. Aparecen aquí en dos estadios: un minuto (*izquierda*) y diez minutos después de la explosión (*derecha*). Las explosiones se provocaron a un intervalo de ocho kilómetros, que es la distancia media entre dos silos de misiles en un campo de Minuteman. Pasados diez minutos, las nubes alcanzan una envergadura de unos ocho kilómetros y su parte más alta se ha estabilizado a la altura de unos 18. La ilustración muestra varios RV que se dirigen hacia objetivos más dis-

da una correlación absoluta en alguna porción de la fuerza, para esa porción el ataque sólo da lugar a un valor de la variable. Igual que de una tirada de dos dados pueden salir un dos o un doce en lugar del valor más probable del siete, así, desde un punto de vista realista, no pueden descartarse en el ataque de un solo misil desviaciones de bastante más de 100 metros.

Hay también alguna incertidumbre en los cálculos del PEC para todo ICBM. Se dispone de una amplia variedad de fuentes de información sobre la precisión de una determinada arma. Por ejemplo, las pruebas no destructoras en superficie ofrecen minuciosos detalles sobre el funcionamiento de cada componente del sistema de guía, que pueden combinarse para componer una evaluación aproximativa de la precisión de conjunto del sistema. La realidad sigue siendo que muchas e importantes causas de error –como los fallos atribuibles al retorno a la atmósfera– no se pueden comprobar de forma fehaciente en superficie. Además, la interacción entre los diversos componentes del sistema de guía en el violento entorno de vibración, golpes y aceleración del lanzamiento de un cohete es en extremo compleja. De ahí que sólo una cantidad estadísticamente importante de pruebas realistas en vuelo de sistemas completos aporten evaluaciones precisas del PEC de un misil balístico.

Por lo general, estas pruebas se dividen en dos grandes categorías: (1) pruebas de investigación y desarrollo, que sirven para sugerir cambios en el diseño y para proporcionar una primera información sobre qué precisión puede alcanzar el misil, y (2) pruebas operativas, que proporcionan evaluaciones de la precisión y del funcionamiento de la fuerza desplegada. Puesto que un misil balístico suele costar más de 10 millones de dólares, los programas de vuelos de pruebas se ven generalmente limitados por barreras presupuestarias. Por ello, los Estados Unidos y la Unión Soviética tienden a efectuar un número relativamente pequeño de vuelos de pruebas de cada sistema de misiles. Por ejemplo, en los primeros estadios de su despliegue, lo normal es que el ICBM norteamericano se someta a 25 o 30 ensayos, que proporcionan una primera evaluación de la precisión y del funcionamiento operativo del sistema. A estas pruebas siguen entre 5 y 10 ensayos operativos cada año del ciclo vital del sistema, para controlar todos los cambios que resulten de un prolongado almacenamiento.

Los vuelos de prueba operativos, en Estados Unidos, se dirigen a asegurar que los ensayos sean lo más realistas posible. Los ICBM a ensayar se escogen al azar entre la fuerza operativa. Aquellos en los que ha recaído la elección se ponen entonces alerta en un silo y se preparan para su inmediato lanzamiento. Con ello se trata de mantener en forma la dotación humana y la electrónica del silo de lanzamiento. Si el misil no se pone en estado de alerta, se considera que ha fallado y no se prosigue su prueba. Si supera esa fase, se traslada desde su silo operativo al centro de pruebas de la base aérea de Vandenberg, en California. Los RV se envían a unas instalaciones especiales, donde se les retiran sus ojivas termonucleares para volvérselas a incorporar con equipo de telemetría. Entonces,



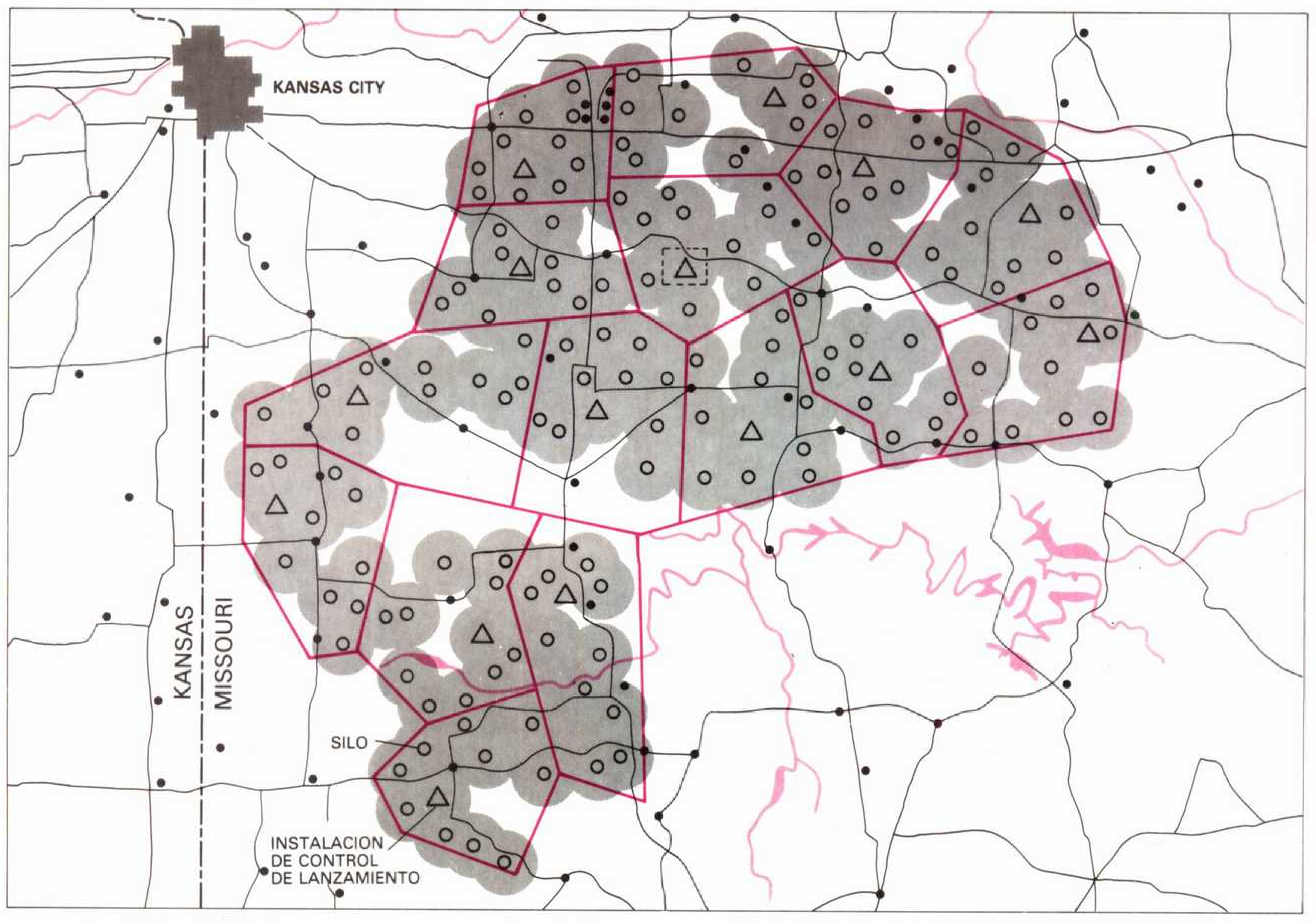
tantes. La colisión a alta velocidad con pequeñas partículas de las nubes podría desencadenar efectos fratricidas catastróficos sobre los RV de la segunda oleada, alterando seriamente su precisión, si es que no los destruyen. Los ICBM que superaron el ataque de la primera oleada podrían lanzarse sin peligro a través de la capa de nubes antes de que las ojivas que se aproximan en segunda oleada entraran, también sin peligro, en la zona de sus objetivos. El atacante sólo podría arrasar entonces silos vacíos. (Contra esta táctica, el atacante puede detonar cargas nucleares que impidan la salida de los ICBM.)

una dotación seleccionada al azar entre las secciones de misiles operativos lanza el misil con sus RV modificados desde el silo de pruebas de Vandenberg y los RV entran a la atmósfera sobre el atolón de Kwajalein, en el Pacífico.

El equipo de telemetría a bordo del misil proporciona por radio una detallada información sobre determinados parámetros: flujo de carburante, avance del cohete, comportamiento de los componentes de su guía y vibraciones y golpes a que el misil se ve sujeto. Esta información es recogida por estaciones norteamericanas de control de pruebas y por barcos espías soviéticos situados en el Pacífico a tal objeto. Además, el vuelo se controla cuidadosamente desde radares y telescopios ópticos emplazados en Vandenberg y en Kwajalein. La información se somete a un profundo análisis a lo largo de un período de varios meses. Resultado de todo ello es que la información generada por el vuelo de prueba va mucho más allá de saber si el misil funcionó o no y de a qué distancia aterrizó del objetivo previsto.

Sin embargo, persisten importantes incertidumbres. En primer lugar, el número de vuelos de prueba de todo el sistema es aún bastante reducido. En segundo lugar, y a pesar de los esfuerzos por lograr la mayor verosimilitud posible, estas pruebas en tiempos de paz difieren aún de forma apreciable de las operaciones en tiempos de guerra. Por ejemplo, los RV norteamericanos de pruebas vuelven a entrar en la atmósfera sobre el atolón de Kwajalein, una zona donde las condiciones atmosféricas se cuentan entre las más tranquilas del mundo. Además, dado que el campo de gravedad de la tierra varía de un lugar a otro, las pruebas hechas sobre una única trayectoria no pueden por sí solas proporcionar evaluaciones de posibles errores gravitatorios sobre otras trayectorias.

Lo que es aún más significativo, la distancia sobre la que se ensayan la mayoría de los misiles soviéticos es de 6500 kilómetros, mientras que en tiempos de guerra muchas trayectorias rozarían los 10.000. Aunque los soviéticos realizan varios vuelos de pruebas en todo su alcance para evaluar sus sistemas ICBM, la mayoría de los ensayos se limitan a distancias cortas. Esta diferencia de alcance tiene un notable efecto sobre la práctica totalidad de las causas de error del sistema. Aunque puedan hacerse ajustes sobre las evaluaciones de la precisión que de aquéllas resultan, a partir de un minucioso modelo matemático del comportamiento del sistema, inevitablemente aparecerán otras incertidumbres. Y no puede dejar de tenerse en cuenta que, en un ataque a gran escala contra silos, el PEC podría ser un 10 por ciento mayor –es decir, peor– que el PEC calculado a partir de disparos efectuados sobre distancias de prueba. Para las ojivas a que



3. EXTENSION DEL MANTO DE NUBES resultante de las explosiones de la primera oleada de ojivas nucleares en un hipotético ataque contra fuerzas en un campo de Minuteman próximo a la base área de Whiteman (Missouri). Unos diez minutos después de la explosión de una ojiva nuclear de 550 kilotones sobre cada uno de los 150 silos de Minuteman y las 15 instalaciones de control de lanzamiento en el área del objetivo, las nubes en forma de hongo habrían cubierto prácticamente todo el campo. Si se hiciese explosionar las ojivas de la primera oleada a nivel del suelo, el manto de nubes resultante contendría millones de toneladas de polvo y escombros. Incluso a la máxima altura posible para un ataque sobre tales objetivos "reforzados" con ojivas de 550 kilotones, esa manta de partículas contendría aún cientos de miles de toneladas de material succionado por las bolas de fuego en su ascensión.

nos hemos estado refiriendo, una variación negativa del 10 por ciento reduciría por sí sola la probabilidad de destrucción de doble golpe contra un silo de Minuteman del 72 al 66 por ciento.

Las incertidumbres sobre el funcionamiento de un ICBM son independientes de las incertidumbres relativas a su precisión. Las simulaciones en tierra son considerablemente más útiles para evaluar los porcentajes de fallo que para evaluar la precisión del sistema de arma. Por ejemplo, a los sistemas de guía del Minuteman norteamericano se les somete a pruebas periódicas en vuelos simulados, en los que el sistema de guía se ve sujeto a vibraciones y golpes semejantes a los del vuelo de un misil. Pero, como ocurre en todo sistema técnico sensible y complejo, sólo a través de ensayos de todo el sistema se puede obtener un alto grado de confianza en las evaluaciones de la totalidad de su funcionamiento. Además, las evaluaciones sobre el funcionamiento global de los ICBM tienen que tomar en consideración un amplio espectro de valores humanos que se verían implicados en el ataque: cualquier golpe contra silos a gran escala exigiría la cooperación de cientos de personas, cuyo comportamiento resulta imprevisible en semejantes circunstancias. Así pues, ese 10 por ciento probablemente constituye una evaluación conservadora de la incertidumbre global del funcionamiento. Una vez más, una variación desfavorable del 10 por ciento en el funcionamiento que se presume para un SS-19 Mod 3 reduciría el número de silos Minuteman destruidos en un ataque "dos sobre uno" del 72 al 67 por ciento.

Las evaluaciones del poder explosivo de las ojivas termonucleares contienen a su vez sus propias incertidumbres. Son éstas de dos tipos interconexos: en primer lugar, la incertidumbre sobre los efectos concretos de ojivas de una determinada potencia; en segundo lugar, la incertidumbre sobre las evaluaciones de la potencia de una determinada clase de ojivas. La realización de ensayos de explosivos nucleares en tiempo de paz se ve limitada por razones de costos, seguridad, impacto sobre el medio ambiente, instrumentación y política. Además, está también limitada por tratados, como el de Prohibición Limitada de Pruebas Nucleares de 1963 y el aún no ratificado Tratado Umbral de Prohibición de Ensayos.

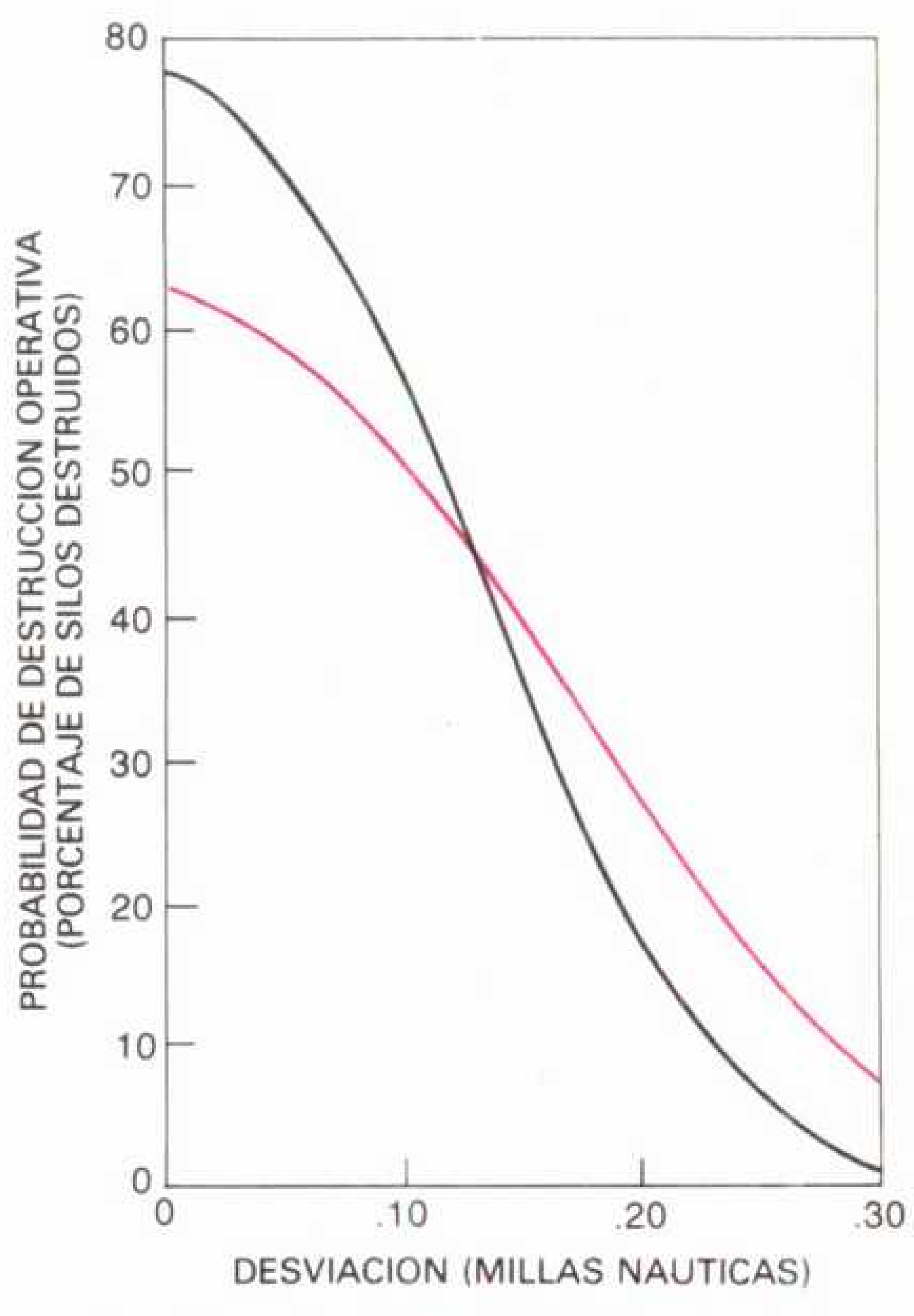
La medición de las sobrepresiones en el alcance extremo necesario para destruir un moderno silo de ICBM se ha visto limitada por problemas instrumentales y ausencia de un estado de necesidad. A principios de los años 1960, cuando norteamericanos y soviéticos llevaron a cabo las últimas explosiones nucleares en la atmósfera, los objetivos de interés más duros eran más "blandos" que los actuales silos de misiles. Por eso, hay pocas posibilidades de obtener datos de pruebas nucleares para sobrepresiones de más de 14 kilogramos por centímetro cuadrado y aún menos para las de más de 35 kilogramos por centímetro cuadrado. Los datos de pruebas nucleares existentes para esas altas sobrepresiones muestran un altísimo grado de dispersión y a menudo no concuerdan con las previsiones teóricas. Aunque pueden obtenerse algunos datos adicionales de pruebas con explosivos químicos, surgen grandes incertidumbres al extrapolar tales datos a las previsiones de los efectos de las armas nucleares del orden del megatón. La Agencia de Inteligencia de la Defensa de Estados Unidos ha declarado que las evaluaciones norteamericanas de las sobrepresiones que cabe esperar de las explosiones nucleares a ciertos niveles tienen una incertidumbre del 20 por ciento en más o en menos.

La segunda incertidumbre al evaluar el poder explosivo de las ojivas termonucleares, relativa a la potencia media de una determinada clase de ojivas, tiene un origen parecido: el número de pruebas de cualquier arma nuclear es pequeño y existen importantes dificultades instrumentales para medir la energía producida por una explosión nuclear subterránea de ensayo.

La potencia que se espera del diseño de una determinada arma puede evaluarse de modo teórico, pero este tipo de análisis tiene sus trampas, como se vio en la ojiva desarrollada para el RV Mark 12, recientemente desplegado en los misiles norteamericanos Minuteman III. Las tres primeras pruebas de este arma mostraron que su potencia era bastante inferior a la prevista, y hubo que modificar el diseño original hasta que, en un cuarto ensayo, el arma alcanzó toda su potencia. Aunque éste pueda ser un caso extremo, la incertidumbre sobre la potencia media de cualquier clase de ojivas será del 10 por ciento, por lo menos.

En aras de la simplicidad, combinaremos los dos tipos de incertidumbre en el poder explosivo de una ojiva, describiéndolos como variaciones en potencia efectiva. Dado que la sobrepresión máxima tiene que ver con la potencia explosiva, una variación del 20 por ciento en la sobrepresión produciría una variación del 20 por ciento de la potencia explosiva; una estimación conservadora de la incertidumbre total de la potencia efectiva de una determinada arma podría ser entonces del 25 por ciento. Una variación desfavorable del 25 por ciento en la potencia de las armas implicadas reduciría la eficacia del hipotético ataque que hemos descrito del 72 al 66 por ciento.

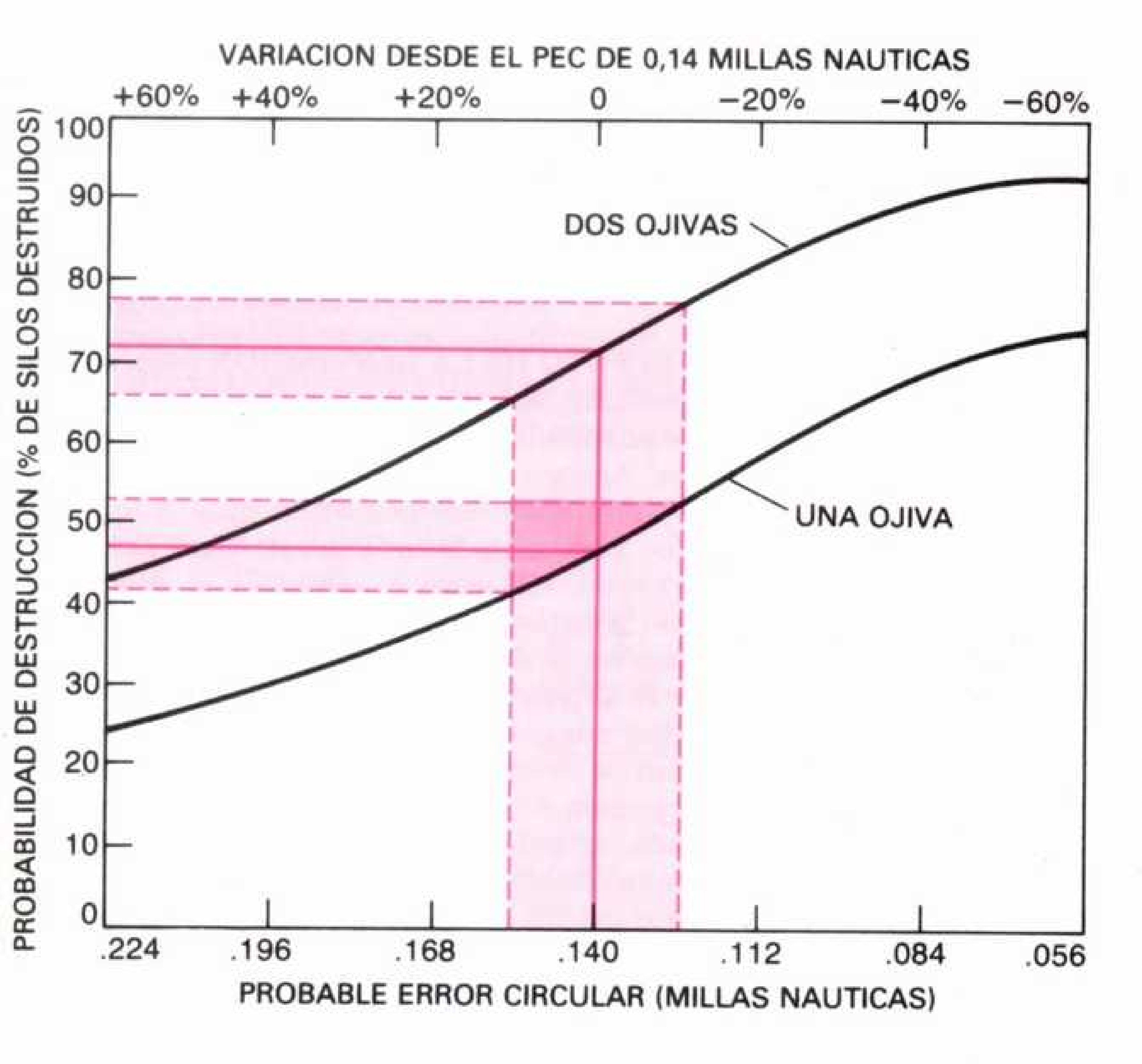
Aunque la precisión, el funcionamiento y la potencia de los ICBM no son seguros, un país que contemple la posibilidad de un ataque se ve obligado a ensayarlos en tiempos de paz. Lo que no rige para la solidez de los silos que

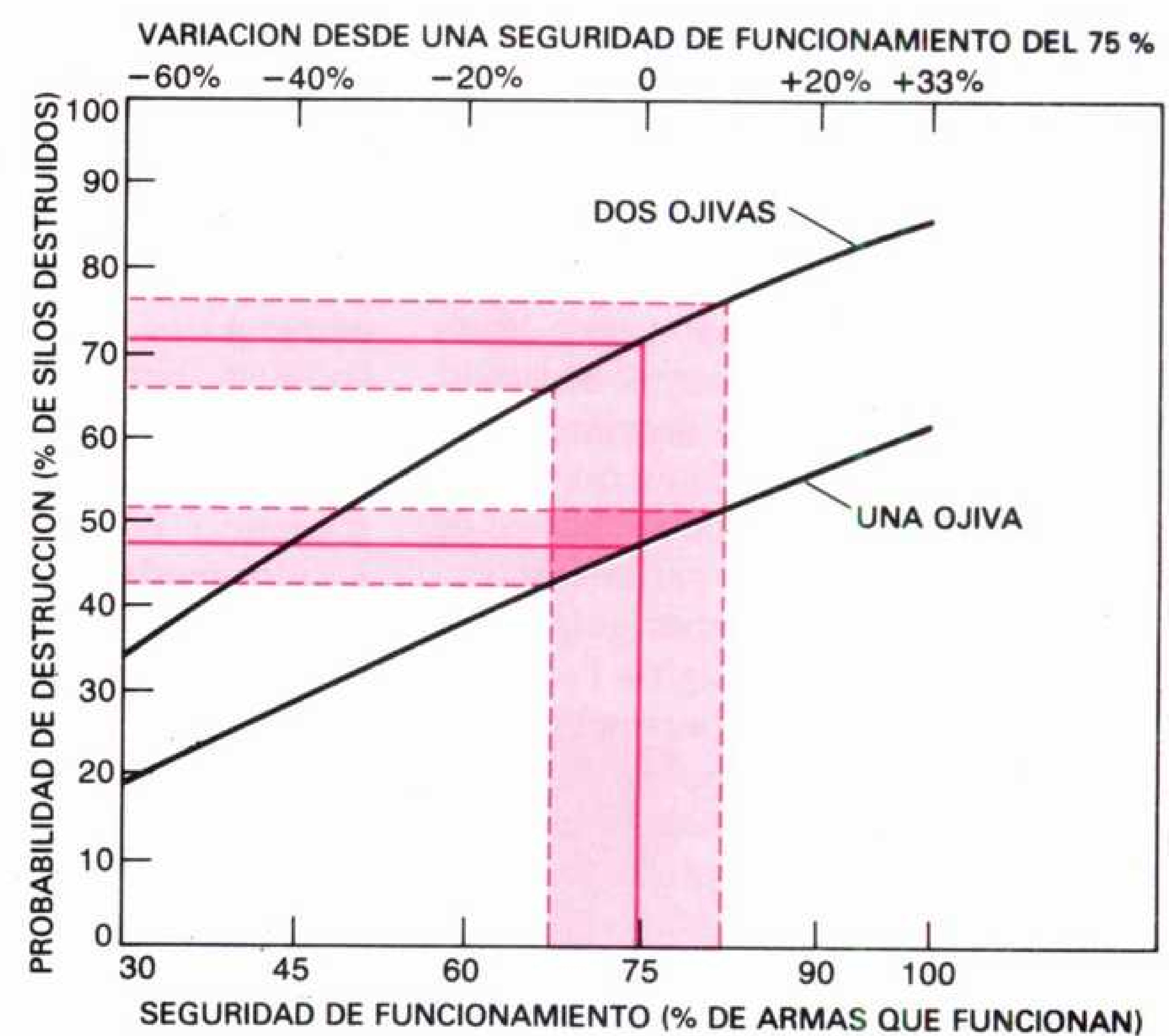


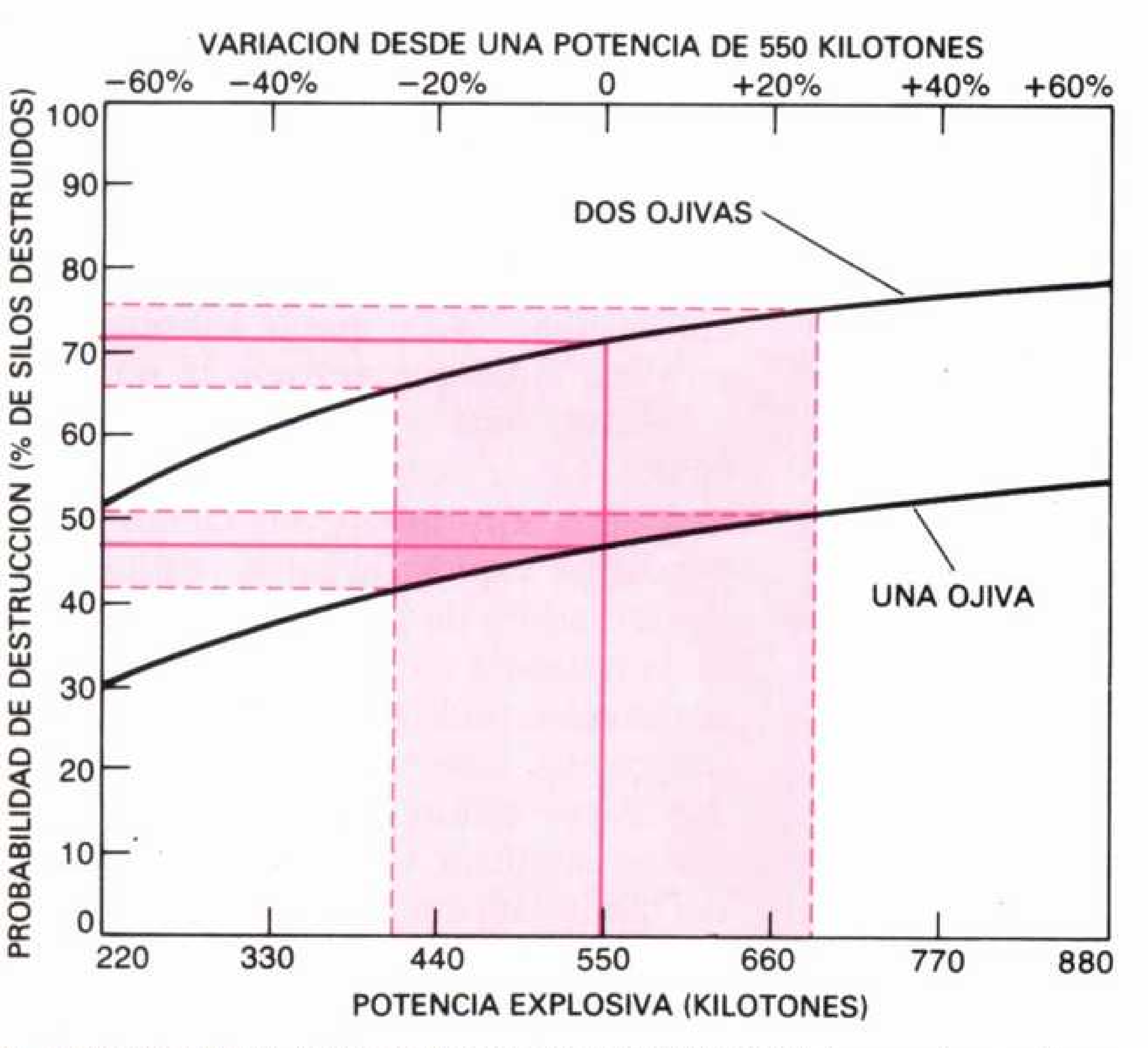
4. EFECTO DE LA DESVIACION sobre las probabilidades operativas de destrucción de una ojiva que se aproximara en un hipotético ataque contra silos. Aparece en este gráfico con referencia a dos RV: una ojiva soviética SS-19 Mod 3 (*curva de color*) y una ojiva Minuteman III Mark 12A (*curva en negro*). (El sesgo o desviación se define aquí como la distancia que hay desde el objetivo hasta el punto medio de impacto de una muestra al azar de ojivas dirigidas a ese objetivo.) Se supone que en ambos casos las ojivas han sido lanzadas sobre objetivos "reforzados" para sobrevivir a una sobrepresión de 140 kilogramos por centímetro cuadrado. Además, se supone que los sistemas operan con una fiabilidad del 100 por ciento, que las dos ojivas del SS-19 tienen una potencia explosiva de 550 kilotones y, 350, las de los Minuteman III y que el probable error circular es de 0,14 millas náuticas para el SS-19 y de 0,10 para el Minuteman III. (El probable error circular –PEC– se define como el radio de un círculo dentro del cual caerán la mitad de las ojivas dirigidas al objetivo.) Es de señalar que para ambos misiles una desviación de media milla náutica (unos 100 metros) apenas incidiría en la probabilidad de destrucción; una desviación mayor sí tendría consecuencias.

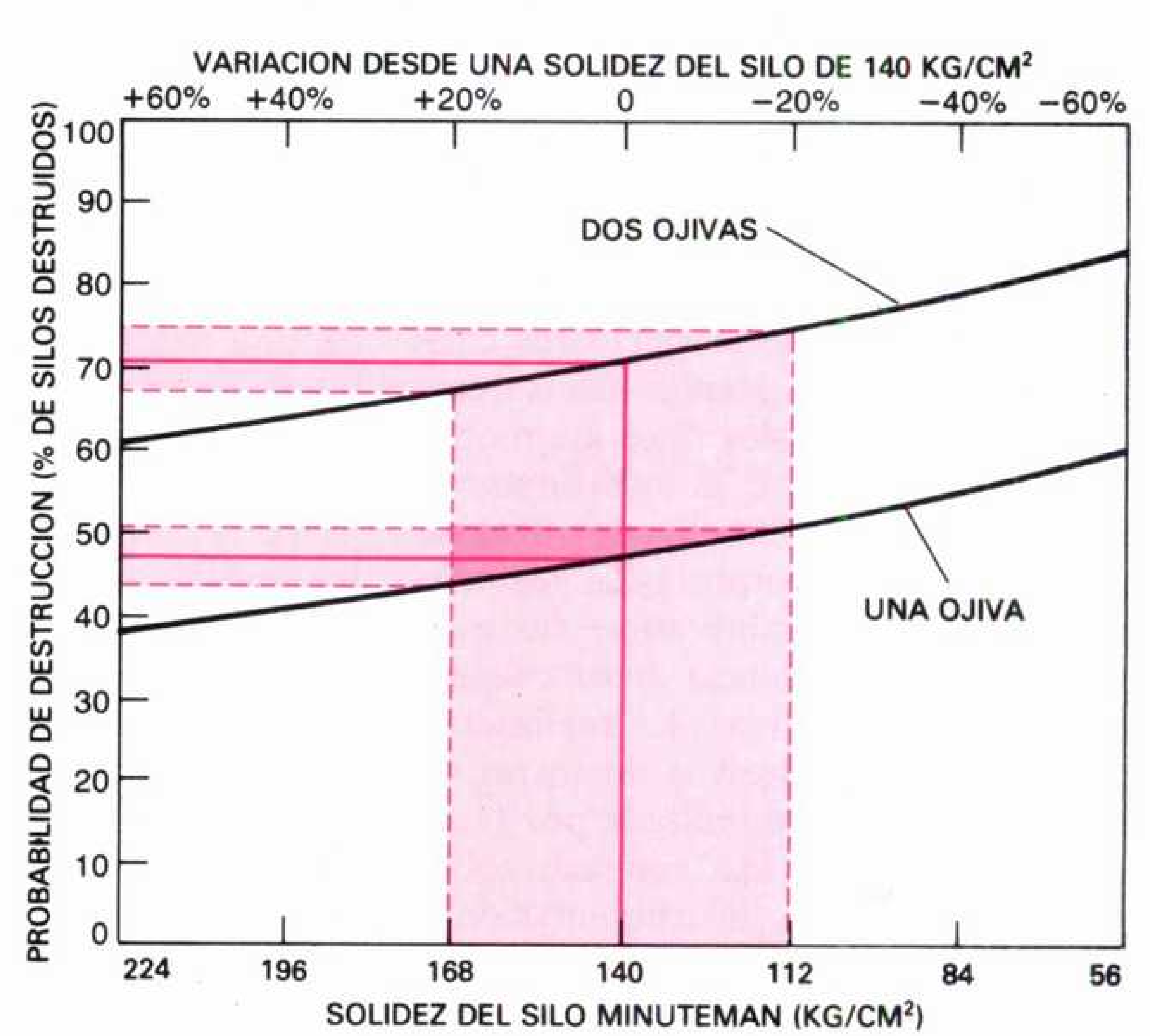
se van a atacar. La sobrepresión a la que un silo sucumbirá depende, en primer lugar, de características técnicas de la puerta de hormigón reforzado situada en lo alto del mismo, y es en extremo difícil obtener información fiable de sus características. En eso puede estribar la mayor de las incertidumbres, desde el punto de vista del atacante. Los propios Estados Unidos admiten que la solidez de sus silos no goza de todas las garantías y seguridad ante imponderables. Ningún silo se ha visto aún expuesto a prueba nuclear. Las evaluaciones de la solidez de los silos se basan totalmente en consideraciones teóricas sobre su estructura y pruebas de modelos a escala con explosivos químicos. Así pues, desde el punto de vista de quien ataque, es posible que la incertidumbre de la solidez de los silos a destruir sea al menos del 20 por ciento, si no bastante mayor. Si los silos objeto del ataque resistieran sobrepresiones de un 20 por ciento superiores a lo esperado, se reduciría, del 72 al 68 por ciento, la eficacia del ataque hipotético que hemos descrito.

Otra importante incertidumbre surge de la interferencia entre los centenares de ojivas que intervendrían en un ataque. Hasta aquí hemos supuesto que las ojivas empleadas en un ataque contra silos serían estadísticamente independientes entre sí; en otras palabras, que la explosión de una ojiva no incidiría en las demás participantes. Pero de ningún modo ocurriría así: las explosiones termonucleares pueden tener efectos enormemente destructivos sobre otros RV, lo que constituye un efecto denominado irónicamente "fratricida".









5. EFECTOS DE LAS VARIACIONES INDIVIDUALES en cuatro parámetros –PEC, funcionamiento, potencia explosiva y solidez del silo– en el resultado de un hipotético ataque contra silos de la fuerza norteamericana de Minuteman. En cada caso se presume que el ataque corre a cargo de una o dos oleadas de ojivas SS-19 Mod 3 o SS-18 Mod 4, que tienen nominalmente un PEC de 0,14 millas náuticas, una perfección de funcionamiento del 75 por ciento y una potencia de 550 kilotones. A los silos de los Minuteman se les ha asignado una solidez nominal de 140 kilogramos por centímetro cuadrado. Las franjas de color suave señalan cuán importantes son los efectos sobre las probabilidades de destrucción de una incertidumbre evaluada conservadoramente en un 10 por ciento para el PEC y para el funcionamiento, del 25 por ciento para la potencia explosiva y del 20 por ciento para la solidez del silo.

En sus primeras milésimas de segundo, una explosión termonuclear libera un intenso estallido de radiaciones: neutrones, rayos X y rayos gamma; las radiaciones crean, a su vez, un poderoso impulso electromagnético. A esta breve explosión de radiación sigue la rápida expansión de una bola de fuego de gases calientes y comprimidos. La bola de fuego se expande a una velocidad superior a la del sonido, alcanzando un radio de centenares de metros en menos de un segundo. Puesto que los gases supercalentados de su interior son menos densos en el aire que la rodea, la bola de fuego empieza a ascender rápidamente, cual si de un globo de aire caliente se tratara. Ello desencadena un viento vertical de varios centenares de kilómetros por hora; de hecho, basta el efecto del viento provocado por una explosión de medio megatón para levantar una piedra de dos toneladas de peso. En el caso de que la explosión de las armas se produzca a una altura óptima para el ataque a un silo, endurecido para soportar 140 kilogramos por centímetro cuadrado, la bola de fuego estará en contacto con la tierra varios segundos; consiguientemente, los poderosos vientos ascendentes absorberán hacia arriba millares de toneladas de polvo y escombros, creando la famosa nube en forma de hongo.

La nube asciende a gran velocidad. En un minuto alcanza una altura de varios kilómetros. Entonces, frena su ascensión, llegando a su máxima altura a los diez minutos de la explosión. En el caso de un arma de medio megatón, la parte superior de la nube se estabilizará a los 18 kilómetros de altura, con su base inferior unos ocho más abajo. En esos diez minutos, la nube habrá cubierto una extensión de unos 100 kilómetros cuadrados. La nube de tal explosión será tan grande que, en caso de ataque a silos de ICBM en un campo estadounidense de Minuteman, las nubes de las explosiones sobre los distintos silos crearían un manto de polvo sobre todo el campo.

La importancia del polvo y de los escombros producidos por la explosión se deriva del hecho de que los RV atraviesan la atmósfera a gran velocidad. Cuando, al entrar en la atmósfera en una zona en la que ya se ha producido una explosión, el RV se topa con la nube, estará desplazándose a unos 6 kilómetros por segundo. Por consiguiente, si el RV colisionase con una partícula que pesase varios gramos, lo probable es que se destruyera inmediatamente, pues semejante colisión se produciría a una velocidad varias veces superior a la de una bala de fusil. Las partículas más pequeñas y el polvo de la nube podrían tener efectos abrasivos catastróficos sobre el RV: el efecto de ese paso a gran velocidad a través de la nube equivaldría a la exposición a un chorro de arena extraordinariamente intenso. La ablación resultante del cono de proa del RV reduciría gravemente su precisión y, en casos extremos, podría suponer la combustión del RV. Además, aquella primera explosión (o explosiones) habría modificado por completo, y de forma imprevisible, la densidad y los perfiles del viento del área, lo que tendría efectos decisivos sobre la precisión de los RV.

Como es lógico, el problema del "fratricidio" tendría que considerarse cuidadosamente al planificar la temporalización de cualquier ataque que exigiese más de un RV dirigido a cada silo. Si se dirigiesen al mismo tiempo dos a cada silo y no fallase ninguno de ellos, la radiación de la primera ojiva que estallase destruiría la segunda. Si el ataque se organizase en dos oleadas separadas por varios segundos, los RV de la segunda se encontrarían con las bolas de fuego, fuertes vientos y partículas letales causadas por las explosiones de la primera. Aunque las altas temperaturas y los vientos de escape generados por la explosión se disiparían a los pocos segundos, las partículas suficientemente grandes para afectar fatalmente a los RV tardarían 20 minutos en caer a tierra y las nubes de polvo y partículas más pequeñas se mantendrían hasta dispersarse por los vientos de la atmósfera. Por tanto, salvo que el atacante dejase transcurrir al menos varios minutos entre la primera y la segunda oleada, para que las partículas mayores hubiesen caído de la nube antes de la llegada de la segunda oleada, parece poco probable que una gran proporción de esta segunda alcanzase su objetivo y lo hiciese con la precisión necesaria para destruirlo. Aunque el atacante dejase transcurrir varias decenas de minutos entre las dos oleadas, la segunda tendría aún que enfrentarse con el manto de polvo y con graves perturbaciones atmosféricas, producto de la explosión, o explosiones, de la primera oleada.

Al no haberse sometido a prueba todavía, no podemos evaluar con exactitud los efectos del fratricidio sobre los RV; hay que conformarse con estimaciones de mera aproximación. Supongamos, en el caso de una segunda oleada que entrase en la atmósfera 10 minutos después de la primera, que su paso por la nube de polvo y los choques con grandes partículas destruyesen sólo el cinco por ciento de los RV y que, por término medio, el efecto de las alteraciones atmosféricas duplicase la fracción del PEC atribuible a la entrada en la atmósfera. Se trata, a nuestro parecer, de una evaluación bastante conservadora del fratricidio que esa oleada sufriría, dadas las condiciones extremas que hemos descrito. Estos efectos reducirían por sí solos la probabilidad de destrucción de un ataque en dos oleadas llevado a cabo por ojivas SS-19 Mod 3 sobre los silos de Minuteman del 72 al 65 por ciento.

El fratricidio introduce una incertidumbre aún más significativa: si el atacante tiene que dejar que transcurran varios minutos entre la primera y segunda oleada de su golpe, es muy posible que los ICBM que sobrevivan a la primera hayan partido ya de sus silos antes de la llegada de la segunda oleada. A su salida del silo, un ICBM se desplaza mucho más lentamente que un RV que retorna a la atmósfera; por tanto, las partículas y el polvo de la nube tienen comparativamente menos efecto sobre él. Los ICBM que sobrevivan podrían ser lanzados sin peligro antes de que la segunda oleada de RV entrara, también sin peligro, en la atmósfera. Aunque una explosión nuclear próxima que no haya conseguido destruir el silo puede impedir que el ICBM despegue inmediatamente, en esos casos en los cuales la ojiva de la primera oleada no tuvo éxito el ICBM continuará sin daño alguno en su silo reforzado. En el escenario de ataque aquí considerado, y que incluye armas de una fiabilidad en su funcionamiento del 75 por ciento, ello significaría que, entre la primera y la segunda oleada, podría lanzarse un mínimo del 25 por ciento de los ICBM. En combinación con los efectos fratricidas anteriormente postulados, reduciría la porción de silos de ICBM destruidos en el hipotético ataque al 56 por ciento. Sin embargo, puesto que la vulnerabilidad de un ICBM aumenta rápidamente en cuanto abandona su silo protector, el atacante podría impedir el disparo de esas armas detonando sobre el campo de silos más ojivas, a intervalos regulares, para destruir cualquier ICBM lanzado desde su silo protector. A esta táctica se la denomina, en el lenguaje militar, "atenazar contra el suelo" (*pindow*).

Hemos pasado revista, una por una, a las incertidumbres que rodean un ataque contra silos. Pero en cualquier ataque real contra silos todas las incertidumbres se darían a la vez, dificultando así las previsiones de qué podría ocurrir tras el ataque. Imaginemos que todas las variables reseñadas se tornasen desfavorables para el atacante; aun no existiendo una desviación considerable sólo se destruiría el 45 por ciento de los silos de Minuteman norteamericanos. Por poco probable que nos parezca que tal ataque estuviese sujeto a fuertes cambios desfavorables en todos los parámetros al mismo tiempo, habría que señalar que una variación desfavorable de dos parámetros cualquiera, sumada al fratricidio, rebajaría la eficacia del ataque a menos del 55 por ciento, aun cuando se ignorasen las posibilidades de error de desviación o las que tiene el ICBM de emprender la huida entre la primera y la segunda oleadas. Somos conscientes de que los grados de incertidumbre que hemos postulado pecan de conservadores. Así pues, la sección de estado mayor responsable de la planificación difícilmente pondría una esperanza razonable en que un ataque en dos oleadas con ojivas SS-19 Mod 3 y SS-18 Mod 4 destruyese más de la mitad de la fuerza de misiles Minuteman.

Puede que el responsable de la planificación optase por lanzar más de dos ojivas contra cada silo, o por lanzar ojivas mayores. Sin embargo, en el caso de ataque contra la fuerza norteamericana de Minuteman, ninguna de esas opciones se presentaría como muy atractiva. Por ejemplo, una tercera oleada se encontraría con efectos fratricidas procedentes de las dos primeras y daría mayor margen de tiempo, después de la segunda, para lanzar los ICBM supervivientes. Aunque los misiles no pudiesen huir, una tercera oleada sólo incrementaría el porcentaje global de silos destruidos del 45 al 57 por ciento. Dado que los 1000 Minuteman norteamericanos albergan 2100 ojivas, ello significaría un gasto de 1000 cabezas soviéticas más para destruir 250 ojivas norteamericanas, de tal modo que un ataque semejante desarmaría antes a la Unión Soviética que a Estados Unidos. Aparte de sus ICBM armados con MIRV, la Unión Soviética tiene 100 SS-19 y SS-18 dotados con una sola ojiva de gran potencia. Demasiado pocos para un ataque contra los 1000 silos de ICBM norteamericanos.

Los dos argumentos anteriores no valen para ciertos objetivos, pocos aunque importantes. Si Estados Unidos desplegase 100 ICBM MX en silos de Minuteman, tal como ha propuesto la Administración Reagan, podrían emplearse para atacarlos los 100 misiles soviéticos equipados con grandes ojivas. Si se dotase a esas armas con los precisos sistemas de guía que despliegan esos mismos misiles en su versión MIRV, el ataque de una sola ojiva de ese tipo sobre cada silo de MX, seguido del de otra ojiva de medio megatón, destruiría el 77 por ciento de las fuerzas MX, aunque se diesen condiciones adversas y fratricidas. Puesto que cada MX lleva 10 ojivas, ello significa que, incluso en condiciones no óptimas, 200 ojivas soviéticas podrían destruir 770 ojivas MX. El empleo, por parte de la Unión Soviética, de otras ojivas adicionales proporcionaría unas posibilidades de destrucción aún mayores.

Así pues, aunque la actual fuerza ICBM soviética representa una seria amenaza para un pequeño número de objetivos de especial valor, ello no le daría, a quien planificase un ataque, una confianza razonable de destruir de modo significativo más de la mitad de la actual fuerza ICBM norteamericana. La práctica, tan extendida, de referirse al resultado probable con dos importantes cifras, sin mencionar la incertidumbre que acecha, constituye una falsificación grotesca: desde un punto de vista realista, todo lo que se puede decir es que el resultado de tal ataque sería *probablemente* la destrucción de entre un 50 y un 90 por ciento de los ICBM norteamericanos. De lo que se infiere que se ha exagerado sin tasa la magnitud de la amenaza de los ICBM soviéticos.

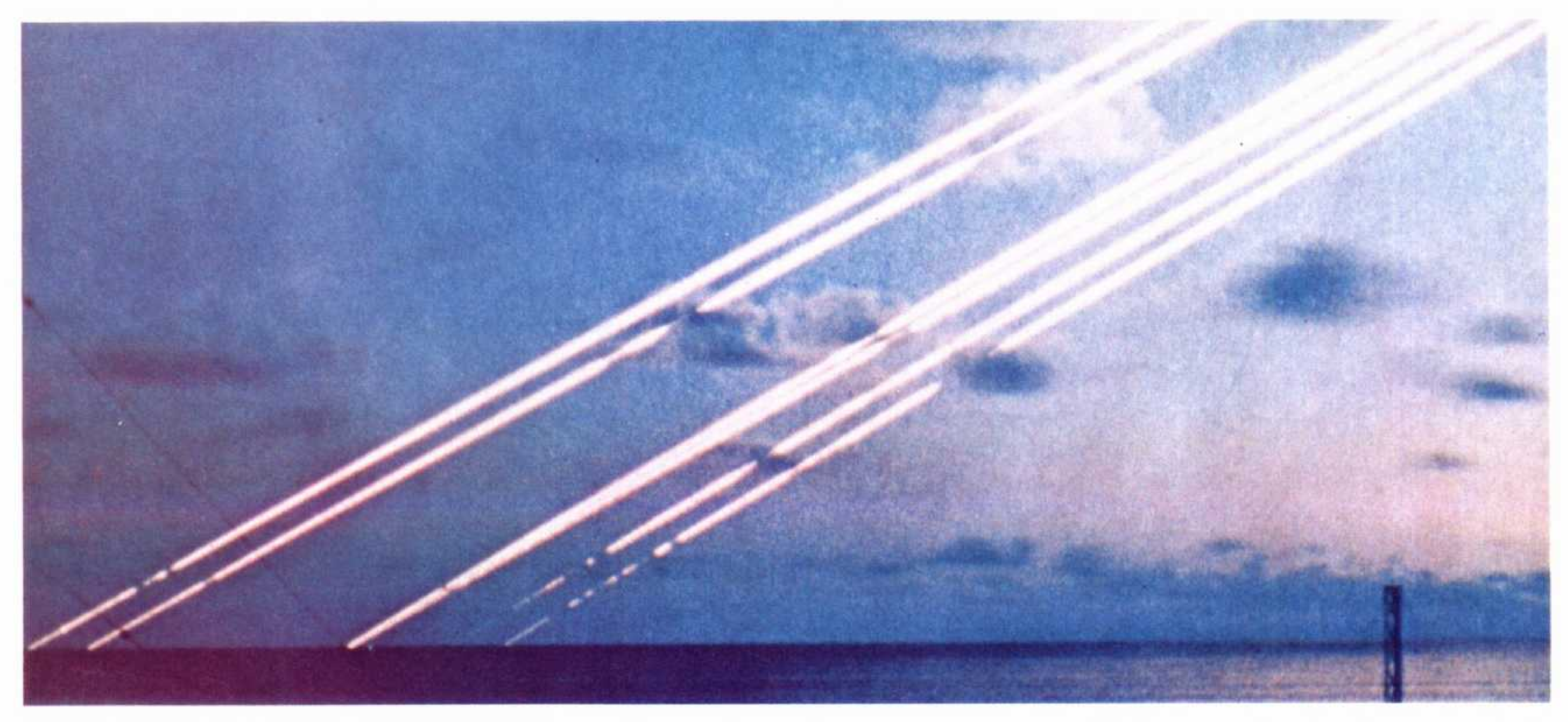
Pero esta conclusión, que pudiera aliviar alguna conciencia, quizá no tenga una validez duradera. La tecnología de las armas estratégicas progresa por días y los adelantos previsibles en los sistemas para situar las armas sobre sus objetivos pueden alterar drásticamente la situación descrita. En el pasado, la precisión de los ICBM, tanto americanos como soviéticos, se multiplicó por dos aproximadamente cada siete años. El refinamiento técnico de las armas estratégicas podría avanzar menos deprisa, a medida que se estrecha el campo del progreso, pero no hay razón para esperar que en los próximos años el modelo difiera mucho.

Puede llegar el día, a finales de la presente década o en la próxima, en que la Unión Soviética haya desplegado una fuerza ICBM dos veces más precisa que la actual. Además, en Estados Unidos –y posiblemente también en Rusia– se están desarrollando RV diseñados para penetrar en las nubes de polvo. Estos cambios tecnológicos podrían menguar de modo significativo el efecto de las incertidumbres que se han descrito. Si el PEC del SS-19 Mod 3 se redujese, por ejemplo, a la mitad, el ataque de dos a uno acabaría con más del 80 por ciento de la fuerza Minuteman estadounidense, incluso dándose cierto fratricidio y variaciones adversas en los parámetros del golpe. En síntesis, una incertidumbre del 10 al 20 por ciento no modificará las cosas si el arma es dos veces más precisa de lo necesario para destruir su objetivo.

Pero las incertidumbres puramente técnicas que se han descrito constituyen la punta del iceberg. Quien proyecte un ataque contra silos tendrá

HIPOTESIS	DESVIACION (MILLAS NAUTICAS)			
	0	.05	.10	.15
FUNCIONAMIENTO AL 100 POR CIENTO	86%	84%	76%	63%
FUNCIONAMIENTO AL 75 POR CIENTO	72%	70%	62%	50%
LIGERO FRATRICIDIO	65%	62%	56%	45%
VARIACIONES DESFAVORABLES	45%	43%	38%	31%

6. EFECTOS DE LA CONJUNCION DE INCERTIDUMBRES en el resultado de un ataque contra silos. Las columnas corresponden a cuatro proyecciones de desviación diferentes. Las filas indican los efectos de las hipótesis propuestas acerca de las capacidades técnicas de las armas empleadas en el ataque (y, en un caso, de la solidez de los silos que se atacan). La primera línea muestra el resultado en términos de probabilidades de destrucción operativa de un ataque ideal, con armas cuyo funcionamiento es totalmente seguro, sobre silos sin variación en su solidez con respecto al valor nominal. La segunda muestra los resultados de un ataque algo más realista, con armas de una seguridad nominal en su funcionamiento del 75 por ciento. La tercera fila informa del efecto producido por una mínima cantidad de fratricidio. La cuarta fila muestra el resultado de un ataque en el que un ligero fratricidio se combina con variaciones desfavorables (para el atacante) en todos los parámetros restantes. Aquí, la precisión y el funcionamiento resultan un 10 por ciento por debajo de los valores nominales y los silos a atacar un 25 más sólidos de lo previsto. Sin esa desviación significativa, no se destruiría más del 45 % de los silos de Minuteman.



7. IMPACTO DE UN ATAQUE CONTRAFUERZAS, recogido en esa fotografía de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos, en la que se observa seis MIRV MARK 12 cayendo, sin carga real, sobre sus objetivos en el atolón de Kwajalein, en el Pacífico occidental. Los RV iban alojados en dos misiles balísticos intercontinentales (ICBM) y fueron lanzados, durante unas maniobras, desde la base aérea de Vandenberg (California). Su trayectoria de entrada en la atmósfera es típica de un ataque contra silos en el que, desde diferentes misiles, se dirigen dos ojivas hacia cada objetivo "reforzado".

también que considerar incertidumbres de otro tipo, centradas sobre todo en la reacción del país agredido. Una nación que almacene ICBM tiene la opción de adoptar la política de "lanzamiento por alerta" o "lanzamiento ante ataque": lanzar los misiles inmediatamente de recibir la información de que otro país ha disparado sus misiles contra él. Estados Unidos ha renunciado a esa política, ante la posibilidad de un error catastrófico, pero el estratega difícilmente podría llegar a confiar en que esa política valga en caso de ataque. Habrían de transcurrir casi 30 minutos entre la primera detección de un lanzamiento masivo y la explosión de las ojivas sobre los silos. Es imposible predecir qué harían los responsables políticos durante ese período y en los siguientes.

Si además de los ICBM instalados en tierra se tienen en cuenta las restantes fuerzas nucleares estratégicas estadounidenses, a la sección de estado mayor responsable se le planteará un serio problema. En primer lugar, los miles de armas nucleares instaladas en submarinos en navegación serán invulnerables a un ataque, al menos en un futuro previsible. En segundo lugar, resultaría imposible destruir conjuntamente la fuerza ICBM y los bombarderos estratégicos estadounidenses. Una parte de la fuerza bombardera está en alerta permanente de 15 minutos, lo que significa que los únicos misiles que podrían destruirla antes de emprender el vuelo serían misiles lanzados desde submarinos que cubriesen la distancia en un rápido vuelo. Sin embargo, los actuales SLBM soviéticos son muy poco seguros para ser eficaces contra silos reforzados, lo que significa que habría que atacar a los silos con vuelos de mayor duración. Si esto ocurriese, las armas nucleares empezarían a estallar sobre las bases de los bombarderos norteamericanos más de 15 minutos antes de que los RV dirigidos sobre los silos pudiesen alcanzar sus objetivos, lo que permitiría el lanzamiento de los ICBM antes de la llegada de los RV.

Aceptemos que se venzan esas dificultades: un ataque que supusiese más de 2000 explosiones nucleares de una potencia media de un megatón, a ras del suelo, causaría entre 20 y 40 millones de bajas civiles. Tamaña agresión no puede valorarse de forma realista como una "acción de cirugía nuclear". No cabe imaginar que Occidente no respondiese, apoyándose en una parte de los miles de ojivas que aún le quedaran en bombarderos y submarinos. Con toda probabilidad, el conflicto experimentaría una rápida escalada hasta un intercambio estratégico con empleo de todas las fuerzas, lo que destruiría al atacante tanto como a la víctima del golpe inicial.

Con los avances de la tecnología, y en un futuro más lejano, podrían reducirse esas incertidumbres implícitas. El desarrollo de SLBM más precisos, que ya está en marcha en Estados Unidos, debilitará la relación entre la fuerza de alerta de bombarderos y la fuerza de ICBM. Si se desplegaran RV extremadamente precisos en su maniobra, los silos podrían destruirse con armas de mucha menor potencia, reduciendo en gran medida el número de bajas civiles que podría causar el ataque. Aunque ello puede parecer deseable, a primera vista, la posibilidad de una acción auténticamente "quirúrgica", combinada con una mayor confianza en las previsiones de sus resultados, aumentaría la tentación de lanzar semejante ataque, lo que rebajaría el umbral nuclear y aumentaría las probabilidades de guerra.

Así pues, aunque la situación actual es más estable de lo que suele creerse, los progresos de la tecnología armamentista no ofrecen unas perspectivas tranquilizadoras. Cabe la posibilidad de que unas rigurosas limitaciones de las pruebas y del despliegue de misiles balísticos pongan coto a muchos de esos pocos deseables avances. Lejos de encerrar a Estados Unidos en una situación de vulnerabilidad, tales limitaciones, de tener efecto, podrían evitar un rápido deterioro de la seguridad estadounidense, que en caso contrario se producirá inevitablemente en los próximos años. Las limitaciones de ensayos y el despliegue de misiles balísticos podrían constituir un importante componente de los esfuerzos para el control de armamentos y merecen un estudio más cuidadoso que los que hasta el momento se han realizado.

Bibliografía

Los lectores interesados en una mayor profundización de los temas expuestos pueden consultar los trabajos siguientes:

VULNERABILIDAD ANTE UN ATAQUE NUCLEAR POR SORPRESA

STRATEGIC VULNERABILITY: THE BALANCE BETWEEN PRUDENCE AND PARANOIA. John D. Steinbruner y Thomas M. Garwin en *International Security*, vol. 1, n.° 1, págs. 138-181; verano, 1976.

BALLISTIC MISSILE GUIDANCE AND TECHNICAL UNCERTAINTIES IN COUNTERSILO ATTACKS. Matthew Bunn y Kosta Tsipis. Program in Science and Technology for International Security, Report n.° 9. Instituto de Tecnología de Massachusetts; julio, 1983.

LAS SALMUERAS

GÉOCHIMIE DES SELS ET DES SOLUTIONS CONCENTRÉES PAR ÉVAPORATION. MODÈLE THERMODYNAMIQUE DE SIMULATION. APPLICATION AUX SOLS SALÉS DU TCHAD. A. Al-Droubi en *Sciences Géologiques*, mem. n.° 46; 1976.

GEOTHERMAL ENERGY UTILIZATION. E. F. Wahe. John Wiley & Sons; New York, 1977.

GRAVITY-INDUCED CROSS-FORMATIONAL FLOW OF FORMATIONS FLUIDS, RED EARTH REGION, ALBERTA, CANADA: ANALYSIS, PATTERNS AND EVOLUTION. J. Toth en *Water Resources Research*, vol. 14, n.° 5, págs. 805-843; 1978.

GEOCHEMISTRY OF HYDROTERMAL ORE DEPOSITS. H. Ll. Barnes. John Wiley & Sons; New York, 1979 (2.ª edición).

HYPERSALINE BRINES AND EVAPORITIC ENVIRONMENTS. A. Nissenbaum. Developments in Sedimentology, 28. Elsevier S. Publ.; 1980.

LA SUSTANCIA MÁS EXTRAORDINARIA EN EL MUNDO. I. V. Petrianov. Ed. Mir; Moscú, 1980.

CENTAURO-A: LA GALAXIA ACTIVA MAS CERCANA

THE X-RAY STRUCTURE OF CENTAURUS A. E. D. Feigelson, E. J. Schreier, J. P. Delvaille, R. Giacconi, J. E. Grindlay y A. P. Lightman en *The Astrophysical Journal*, vol. 251, n.° 1, 1.ª parte, págs. 31-51; 1 de diciembre de 1981.

EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES. Dirigido por David S. Heeschen y Campbell M. Wade. D. Reidel Publishing Co., 1982.

THE X-RAY JETS OF CENTAURUS A AND M87. Eric D. Feigelson y Ethan J. Schreier en *Sky and Telescope*, vol. 65, n.° 1, págs. 6-12; enero, 1983.

BASE MOLECULAR DEL CANCER

ONCOGENES OF SPONTANEOUS AND CHEMICALLY INDUCED TUMORS. R. A. Weinberg en *Advances in Cancer Research*, vol. 36, págs. 149-163; 1982.

ONCOGENES. J. Michael Bishop en *Investigación y Ciencia*, n.° 68, páginas 52-64; mayo, 1982.

SUPERESTRUCTURAS DE ESTADO SOLIDO

CONFINED CARRIER QUANTUM STATES IN ULTRATHIN SEMICONDUCTOR HETEROSTRUCTURES. Raymond Dingle en *Festkörperprobleme / Advances in Solid State Physics*, vol. 15, págs. 21-48; 1975.

ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS. En *Surface Science*, vol. 73; mayo, 1978.

INAS-GASB SUPERLATTICES—SYNTHESIZED SEMICONDUCTORS AND SEMIMETALS. L. Esaki en *Journal of Crystal Growth*, vol. 52, 1.ª parte, págs. 227-240; abril, 1981.

ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS: PROCEEDINGS OF THE FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONIC PROPERTIES OF TWO-DIMENSIONAL SYSTEMS. En *Surface Science*, vol. 113, n.ºs 1-3; enero, 1982.

ARQUEOLOGIA SOCIAL DE LOS MONUMENTOS MEGALITICOS

BEFORE CIVILISATION: THE RADIOCARBON REVOLUTION AND PREHISTORIC EUROPE. Colin Renfrew. Cambridge University Press, 1979.

INVESTIGATIONS IN ORKNEY. Colin Renfrew. Society of Antiquaries, distribuido por Thames and Hudson, 1979.

MONUMENTOS MEGALÍTICOS. Glyn Daniel en *Investigación y Ciencia*, n.° 48, págs. 42-53; septiembre, 1980.

ADAPTACION DE UN COLEOPTERO A UNA SEMILLA VENENOSA

CHEMICAL ECOLOGY. Ernest Sondheimer y John B. Simeone. Academic Press, 1970.

INTRODUCTION TO ECOLOGICAL BIOCHEMISTRY. J. B. Harbone. Academic Press, 1982.

THE NON-PROTEIN AMINO AND IMINO ACIDS: BIOLOGICAL, BIOCHEMICAL AND TOXOLOGICAL PROPERTIES. Gerald A. Rosenthal. Academic Press, 1982.

LA ERUPCION DE KRAKATOA

THE KRAKATOA ERUPCION. R. D. M. Verbeek en *Nature*, vol. 30, n.° 757, págs. 10-15; 1 de mayo de 1884.

THE ERUPTION OF KRAKATOA AND SUBSEQUENT PHENOMENA. Dirigido por G. J. Symons. Trübner & Co., 1888.

THE KRAKATOA AIR-SEA WAVES: AN EXAMPLE OF PULSE PROPAGATION IN COUPLED SYSTEMS. David Harkrider y Frank Press en *The Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, vol. 13, n.ºs 1-3, págs. 149-159; julio, 1967.

TSUNAMIS OF VOLCANIC ORIGIN: SUMMARY OF CAUSES, WITH PARTICULAR REFERENCE TO KRAKATOA, 1883. J. H. Latter en *Bulletin Volcanologique*, vol. 44, n.° 3, págs. 467-490; 1981.

THE 1883 ERUPTION OF KRAKATAU. Stephen Self y Michael R. Rampino en *Nature*, vol. 294, n.° 5843, págs. 699-704; 24/31 de diciembre de 1981.

JUEGOS DE ORDENADOR

SCIENTIFIC AND ENGINEERING PROBLEM-SOLVING WITH THE COMPUTER. William Ralph Bennett, Jr. Prentice-Hall, Inc., 1976.

HOW ARTIFICIAL IS INTELLIGENCE? W. R. Bennett, Jr., en *American Scientist*, vol. 65, n.° 6, págs. 694-702; noviembre-diciembre de 1977.

TALLER Y LABORATORIO

WAVE-MAKING BY WHIRLIGIG BEETLES (GYRINIDAE). Vance A. Tucker en *Science*, vol. 166, n.° 3907, pág. 897.

COMMUNICATION BY SURFACE WAVES: MATING BEHAVIOR OF A WATER STRIDER (GERRIDAE). R. Stimson Wilcox en *Journal of Comparative Physiology*, vol. 80, págs. 255-266; 1972.

Los autores

MATTHEW BUNN y KOSTA TSIPIS ("Vulnerabilidad ante un ataque nuclear por sorpresa") se interesan por los efectos de los sistemas de armas y medidas de control de los mismos. Bunn cursa la especialidad de ciencias políticas en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), e investiga encuadrado en el Programa de Ciencia y Tecnología para la Seguridad Internacional de dicho centro superior. Tsipis es co-director del Programa, que en 1977 puso en marcha con Bernard T. Feld. Griego de nacimiento, emigró en 1954 a los Estados Unidos para estudiar ingeniería eléctrica y ciencias físicas, cuyo doctorado recibió por la Universidad de Columbia. Desde 1966 pertenece al departamento de física del MIT.

SALVADOR ORDOÑEZ ("Las salmueras") da clases de petrología (rocas sedimentarias) en la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, donde se doctoró, con premio extraordinario, en 1974. Inició su labor investigadora en el tema de recursos naturales en el campo de las "bauxitas" como becario de la Fundación March. Ha llegado al campo de la investigación en salmueras a través del estudio de los yacimientos españoles de sulfato sódico y de la sedimentación salina en lagunas. Sus estudios actuales en este dominio están dirigidos hacia la aplicación de técnicas de isótopos estables a la sedimentación de materiales carbonáticos y salinos.

JACK O. BURNS y R. MARCUS PRICE ("Centauro-A: la galaxia activa más cercana") son, respectivamente, profesor ayudante de astronomía de la Universidad de Nuevo México y profesor de física y astronomía y director de ese departamento en la misma institución. Burns se licenció por la Universidad de Massachusetts en 1974; se trasladó luego a la Universidad de Indiana, donde preparó el doctorado en astronomía. En 1980, después de dos años de trabajo como postgraduado en el Observatorio Nacional de Radioastronomía de los Estados Unidos, marchó a Nuevo México. Además del tema desarrollado en su artículo, se interesa por los supercúmulos galácticos. Price se licenció por la Universidad estatal de Colorado, tras lo cual marchó al continente australiano doctorándose por la Nacional de Australia en 1966. De vuelta a los Estados Unidos se incorporó al Instituto de Tecnología de Massachusetts, que dejó ocho años después para convertirse en el primer director de radioespectros de la National Science Foundation. Fue uno de los descubridores del efecto Faraday, según el cual, el plano de polarización de las ondas de radio procedentes de fuentes extragalácticas gira al atravesar campos magnéticos del espacio interestelar.

ROBERT A. WEINBERG ("Base molecular del cáncer") es profesor de biología del Instituto de Tecnología de Massachusetts, donde pasó sus años de formación. En 1979 se recibió de doctor en biología. Sus investigaciones postdoctorales las realizó en el Instituto Weizmann de Ciencias, en Israel, y en el Instituto Salk de Estudios Biológicos. Volvió al MIT en el año 1972. Consiguió la plaza de profesor en 1982, estando adscrito al Centro para la Investigación del Cáncer y al departamento de biología. Weinberg es también miembro del Instituto Whitehead de Investigaciones Biomédicas.

GOTTFRIED H. DÖHLER ("Superestructuras de estado sólido") trabaja en el Instituto Max Planck de física del estado sólido con sede en Stuttgart. Así resume su curriculum: "Finalizados mis estudios de licenciatura me convertí en un físico teórico, entendiendo por tal quien pertenece a un grupo de teoría. En realidad, cada vez que iniciaba una investigación teórica descubría la existencia de numerosas consecuencias experimentales o de posibles aplicaciones. En consecuencia, todo mi trabajo se veía motivado por aspectos experimentales o de aplicación, lo cual evitó que me perdiera en las numerosas implicaciones de la teoría original. Tal sucedió con mi trabajo sobre los efectos de los campos eléctricos intensos en los semiconductores, así como en mis estudios posteriores sobre la teoría del transporte en los semiconductores amorfos. Al abordar las superestructuras de semiconductores descubrí un campo donde la teoría, la experimentación y las aplicaciones prácticas convergían".

COLIN RENFREW ("Arqueología social de los monumentos megalíticos") es catedrático de arqueología de la Universidad inglesa de Cambridge, donde se formó. Se licenció, en 1962, por el St. John's College, doctorándose en arqueología en 1965. Después de cumplir el servicio militar como oficial de la Royal Air Force, se incorporó a la Universidad de Sheffield para enseñar prehistoria y arqueología. Más tarde ingresaría en el claustro docente de la Universidad de Southampton, para ocupar la cátedra de arqueología y dirigir el departamento.

GERALD A. ROSENTHAL ("Adaptación de un coleóptero a una semilla venenosa") enseña biología y toxicología en la Universidad de Kentucky. Cursó su carrera en la Facultad de Ciencias Ambientales y Forestales de la Universidad estatal de Nueva York en Syracuse. Completó sus estudios en la de Duke, hasta doctorarse en fisiología y bioquímica vegetales. Durante varios años fue investigador postdoctoral en bioquímica del Instituto Nacional de la Salud de los Estados Unidos, incorporándose luego al departamento de biología de la Universidad Case Western Reserve. En 1972, dejó Case por Kentucky. Pasó un año sabático (el de 1979) en la cátedra Lady Davis de entomología agrícola de la Universidad Hebrea de Jerusalén.

PETER FRANCIS y STEPHEN SELF ("La erupción de Krakatoa") son geólogos que estudiaron en el Imperial College of Science and Technology de Londres. Actualmente trabajan en Texas y comparten un mismo interés por los efectos de las erupciones volcánicas en el clima. Francis nació en Zambia y cursó en Inglaterra sus estudios de geología. Asistió al Imperial College como postgraduado, doctorándose en geología en 1969. Desde 1971 es miembro del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad a Distancia. Self comenzó su carrera en la Universidad inglesa de Leeds. En 1974 se recibió de doctor en geología por el Imperial College, tras lo cual se trasladó a la Universidad Victoria de Wellington, Nueva Zelanda, para recoger datos de erupciones en el núcleo volcánico de Taupo. Fue a los Estados Unidos para trabajar sobre los efectos de las erupciones volcánicas en el clima, subvencionado por la NASA. En 1979 se incorporó a la Universidad estatal de Arizona, abandonándola tres años más tarde para ocupar una plaza en el departamento de geología de la Universidad de Texas en Arlington.

Número 88
Enero 1984

INVESTIGACION Y
CIENCIA
Edición en español de SCIENTIFIC AMERICAN

EDITA: Prensa Científica, S. A.
Calabria, 235-239
Barcelona-29 (ESPAÑA)